

## ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ СПОСОБА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И АДАПТАЦИИ ЗНАНИЙ ОБ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ В ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ

Денисова И. Ю.<sup>1</sup>, Балашов И.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, Россия (440026, Пенза, ул.Красная, 40), e-mail: irs@sura.ru

<sup>2</sup> Филиал ФГБОУ ВПО «Российский государственный социальный университет», Пенза, Россия (440044, г. Пенза, ул. Суворова, 156), e-mail: balashov82@gmail.com

Исследована система знаний эксперта о составе и структуре учебной дисциплины, представленной в информационной системе дистанционного обучения (ИСДО). Показано, что характеристики объектов, составляющих структуру учебной дисциплины, оцениваются экспертом субъективно в лингвистически неопределенных категориях. Обосновано применение методологии нечеткого моделирования при формальном описании знаний эксперта об учебной дисциплине. Построена математическая модель представления знаний эксперта об учебной дисциплине в реляционной базе данных ИСДО. Представлена математическая модель способа адаптации знаний эксперта об учебной дисциплине к установленной количественной характеристике сформированной системы знаний, умений, навыков обучаемого. Программная реализация описанных в статье математических моделей позволит определить представление учебной дисциплины в наглядном и обозримом виде с учетом качественных характеристик учебного материала, отразить в ИСДО личный профессиональный опыт преподавателя и тем самым повысить качество дистанционного обучения.

Ключевые слова: информационная система, дистанционное обучение, математическая модель, нечеткие множества, нечеткая логика.

## THE FORMALIZED DESCRIPTION OF THE WAY OF KNOWLEDGE REPRESENTATION AND ADAPTATION OF THE SUBJECT IN INFORMATION SYSTEM OF DISTANCE EDUCATION

Denisova I.Y., Balashov I.V.

<sup>1</sup> FGBOU VPO "Penza State University", Penza, Russia (440 026, Penza, Krasnaya, 40), e-mail: irs@sura.ru

<sup>2</sup> Filial FGBOU VPO "Russian State Social University", Penza, Russia (440044, Penza, ul. Suvorov, 156), e-mail: balashov82@gmail.com

The system of knowledge of the expert about composition and structure of a subject presented in information system of distance education (ISDE) is researched. It is shown that characteristics of the objects making structure of a subject are estimated by the expert subjectively in linguistically uncertain categories. Application of methodology of fuzzy modelling is proved in the course of the formal description of knowledge of the expert about a subject. The mathematical model of representation of expert knowledge about a subject in relational database ISDE is constructed. The mathematical model of a way of an expert knowledge adaptation about a subject to the established quantitative characteristic of the generated system of knowledge, abilities, skills of the trainee is presented. Program realisation of the mathematical models described in the article will allow to define representation of a subject in an evident and foreseeable kind taking into account qualitative characteristics of an educational content, to reflect in ISDE personal expertise of the teacher and, thereby, to raise the quality of distance education.

Keywords: information system, distance education, mathematical model, fuzzy sets, fuzzy logic.

«Дистанционное обучение представляет собой способ организации учебного процесса на расстоянии без непосредственного контакта между преподавателем и учащимся» [1].

ИСДО представляет собой программу, на основе знаний эксперта реализующую педагогическую цель в некоторой предметной области. В то же время существующие средства представления знаний эксперта в ИСДО не удовлетворяют в полной мере современным требованиям индивидуализированного подхода к обучению, поэтому задача их совершенствования является достаточно актуальной. Поскольку знания эксперта о характеристиках объектов предметной области процесса дистанционного обучения носят качественный характер и характеризуются лингвистической неопределенностью, то при их формализации наиболее конструктивной оказывается методология нечеткого моделирования.

«Реализация функций обучения в ИСДО определяет наличие таких функциональных составляющих обучающей системы, как предоставление средств разработки педагогом электронного учебного курса (ЭУК) и поддержка самостоятельного прохождения студентом ЭУК» [4]. ЭУК представляет собой целостную дидактическую систему, основанную на знаниях эксперта об учебной дисциплине. Под знаниями об учебной дисциплине будем подразумевать систему знаний эксперта о составе и структуре учебной дисциплины, определяемых требованиями государственного образовательного стандарта, учебным планом и другими нормативными документами. Содержание учебной дисциплины, представленной в ИСДО, можно условно разделить на две части – теоретическую и диагностическую. Теоретическая часть структурируется по темам. Согласно современным требованиям, предъявляемым к обучающим системам, содержание учебной дисциплины, представленной в ИСДО, должно адаптироваться под особенности каждого конкретного обучаемого с целью лучшего усвоения им материала. Для достижения данной цели можно представить содержание каждой темы в нескольких альтернативных вариантах, которые будут различаться по степени подробности, глубине и другим характеристикам учебного материала. При этом необходимо, чтобы во всех альтернативных содержаниях присутствовала базовая теоретическая часть, необходимая для изучения всем учащимся независимо от их подготовки.

Обозначим  $S$  – множество альтернативных содержаний учебной дисциплины. Множество  $S$  дискретное, конечное, упорядоченное. Уровень содержания учебного материала (рейтинг содержания) оценивается экспертом. Экспертная оценка рейтинга содержания субъективная и лингвистически неопределенная, что затрудняет применение точных количественных методов при ее формальном описании. Адекватным модельным средством в данном случае является методология нечеткого моделирования.

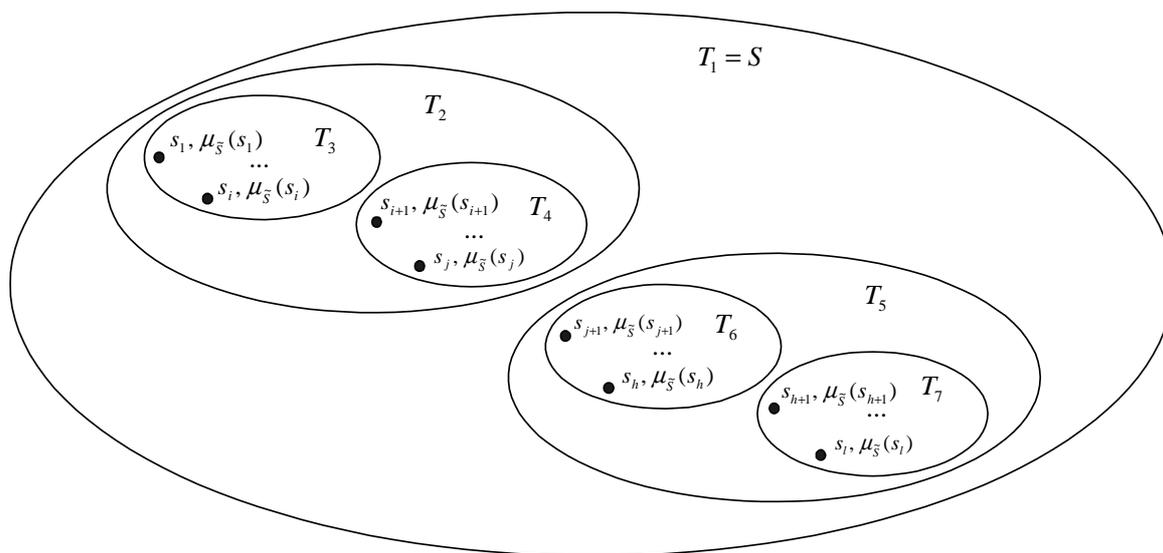
Обозначим  $\tilde{S} \subset S$ ,  $\tilde{S} = \{s, \mu_{\tilde{S}}(s) \mid s \in S\}$  – нечеткое множество «содержание высокого рейтинга». Функция принадлежности данного нечеткого множества есть отображение

$\mu_{\tilde{S}}(s) : S \rightarrow [0; 100]$ . Нечеткое множество  $\tilde{S}$  задается экспертом путем явного перечисления всех элементов и соответствующих им значений функции принадлежности, поскольку носитель данного нечеткого множества конечен, дискретен и с относительно небольшим числом элементов.

Структура теоретической части учебной дисциплины формируется экспертом путем установления состава тем учебной дисциплины и отношений между темами. Формально тема учебной дисциплины представляет собой некоторое подмножество множества альтернативных содержаний  $T \subseteq S$ . Объединяя содержания в темы, эксперт определяет характеристическую функцию  $\lambda_T(s) : S \rightarrow \{0,1\}$ , такую, что

$$\lambda_T(s) = \begin{cases} 1, & \text{если } s \in T, \\ 0, & \text{если } s \notin T, \end{cases} \quad \forall (s \in S).$$

Эксперт также устанавливает отношение строгого включения  $\varphi_c$  между темами. Совокупность всех тем  $K = \{T_1, T_2, \dots, T_n\}$ , составляющих структуру учебной дисциплины, есть подмножество булеана множества содержаний  $B(S)$ , т.е.  $K \subset B(S)$ . Поскольку  $S = \bigcup_{i=1}^n T_i$ , то множество  $K$  является покрытием множества  $S$ . На рисунке 1 представлена диаграмма Венна, иллюстрирующая отношения между структурными единицами теоретической части учебной дисциплины, представленной в ИСДО:



**Рисунок 1. Диаграмма Венна структуры теоретической части учебной дисциплины.**

Изучение теоретической части учебной дисциплины предполагает усвоение учащимся

научных знаний и формирование у него системы специальных и общеучебных умений и навыков. «Критерий эффективности деятельности учащихся в процессе обучения – уровень усвоения знаний и умений, овладения способами решения познавательных и практических задач, интенсивности продвижения в развитии» [3]. Данный критерий можно выразить количественно. Количественную оценку критерия эффективности деятельности учащихся будем называть рейтингом обучаемого. Установить значение рейтинга обучаемого позволяет наличие в составе учебной дисциплины диагностического материала. Как правило, в ИСДО диагностическая часть учебной дисциплины представлена в форме педагогического теста – системы тестовых заданий специфической формы, позволяющих количественно измерить уровень знаний, умений и навыков (ЗУН) обучаемого. В настоящее время в педагогике выработано четыре основных формы тестовых заданий, которые являются основой для составления тестов по любым учебным предметам.

1. Закрытая форма заданий с выбором правильного ответа (ответов).

2. Задание на установление правильного соответствия. Элементам одного множества требуется поставить в соответствие элементы другого множества.

3. Задания открытой формы (задания с дополнением) – ответ вписывает сам учащийся в определенном для этого месте. После дополнения учащийся получает ответ в форме истинного или ложного высказывания.

4. Задания на установление правильной последовательности: действий, операций, вычислений и т.п.

Структурными компонентами тестового задания произвольной формы являются:

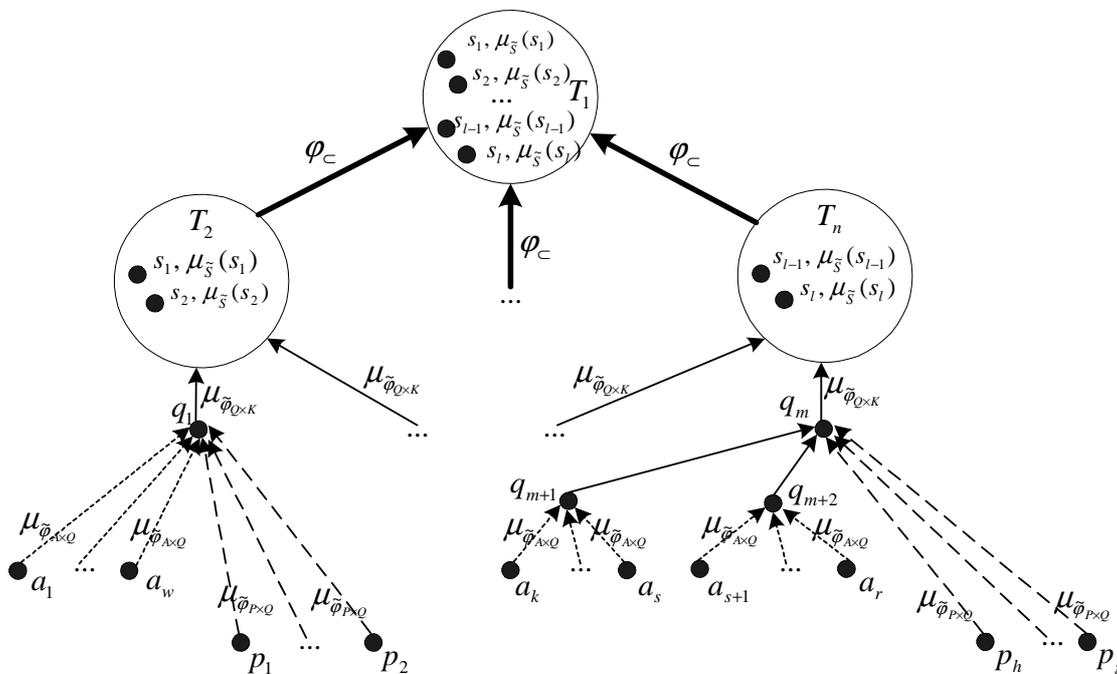
- вопрос-задача в тестовой форме, предназначенная для выполнения, к которой, помимо содержания, предъявляются требования тестовой формы;
- ответ-вариант выполнения тестового задания;
- подсказка – дополнительный информационный материал, предназначенный для получения учащимся помощи при прохождении тестирования.

Обозначим:  $Q$  – множество вопросов, представленных в ИСДО;  $A$  – множество ответов, представленных в ИСДО;  $P$  – множество представленных в ИСДО подсказок. Множества  $Q$ ,  $A$ ,  $P$  конечные, дискретные. Анализ структуры тестовых заданий различной формы выявляет наличие таких отношений, как:

- $\varphi_{Q \times K} \subset Q \times K$  – отношение «вопрос темы»;
- $\varphi_{Q \times Q} \subset Q \times Q$  – отношение «подвопрос вопроса»;
- $\varphi_{A \times Q} \subset A \times Q$  – отношение «ответ на вопрос»;
- $\varphi_{P \times Q} \subset P \times Q$  – отношение «подсказка к вопросу».

С целью более точной диагностики уровня ЗУН обучаемого дифференцируем вопросы каждой теме по уровню трудности. Обозначим  $\tilde{\varphi}_{Q \times K} \subset \varphi_{Q \times K}$ ,  $\tilde{\varphi}_{Q \times \tilde{K}} = \{(q, T), \mu_{\tilde{\varphi}_{Q \times K}}(q, T)\}$  – нечеткое отношение «трудный вопрос темы», где функция принадлежности  $\mu_{\tilde{\varphi}_{Q \times K}}(q, T)$  есть отображение  $\mu_{\tilde{\varphi}_{Q \times K}} : \varphi_{Q \times K} \rightarrow [0; 100]$ . В большинстве тестов ответы обучаемого на вопрос оцениваются либо как правильные, либо как неправильные. Повысить степень точности диагностики пробелов в ЗУН обучаемого можно, анализируя также и частично правильные ответы. Обозначим  $\tilde{\varphi}_{A \times Q} \subset \varphi_{A \times Q}$ ,  $\tilde{\varphi}_{A \times Q} = \{(a, q), \mu_{\tilde{\varphi}_{A \times Q}}(a, q)\}$  – нечеткое отношение «правильный ответ на вопрос», где  $\mu_{\tilde{\varphi}_{A \times Q}} : \varphi_{A \times Q} \rightarrow [0; 100]$ . Подсказки могут с различной степенью подробности раскрывать содержание вопроса. Обозначим  $\tilde{\varphi}_{P \times Q} \subset \varphi_{P \times Q}$ ,  $\tilde{\varphi}_{P \times Q} = \{(p, q), \mu_{\tilde{\varphi}_{P \times Q}}(p, q)\}$  – нечеткое отношение «подробная подсказка к вопросу», где  $\mu_{\tilde{\varphi}_{P \times Q}} : \varphi_{P \times Q} \rightarrow [0; 100]$ . Нечеткие отношения  $\tilde{\varphi}_{Q \times \tilde{K}}$ ,  $\tilde{\varphi}_{A \times Q}$ ,  $\tilde{\varphi}_{P \times Q}$  задаются экспертом явного перечисления всех кортежей и соответствующих им значений функций принадлежности, поскольку носители данных нечетких отношений конечны, дискретны и с относительно небольшим числом элементов.

Математической моделью представления знаний эксперта об учебной дисциплине в реляционной базе данных ИСДО является нечеткий ориентированный граф  $\tilde{G}$ , изображенный на рисунке 2.



**Рисунок 2. Математическая модель представления знаний об учебной дисциплине в базе данных ИСДО.**

Множество вершин графа отображает множество объектов, образующих состав

учебной дисциплины, множество дуг – выделенные выше структурные отношения между объектами. Вершины и дуги маркированы значениями функций принадлежности установленных нечетких множеств и отношений. Совокупность подмножеств вершин графа  $V = \{K, Q, A, P\}$  определяет таблицы реляционной базы данных ИСДО, в которых хранятся функции принадлежности выделенных выше нечетких множеств и отношений. Совокупность подмножеств дуг графа  $E = \{\varphi_c, \tilde{\varphi}_{Q \times K}, \varphi_{Q \times Q}, \tilde{\varphi}_{A \times Q}, \tilde{\varphi}_{P \times Q}\}$  устанавливает связи данных таблиц.

Предложенный способ формализованного описания знаний об учебной дисциплине позволяет:

- четко определить представление учебной дисциплины в реляционной базе данных ИСДО в наглядном и обзримом виде с учетом качественных характеристик учебного материала;
- привлечь экспертов для обсуждения полноты содержания уже на начальной стадии проектирования;
- определить варианты траекторий освоения учебного материала в ИСДО;
- сформулировать требования к типу, количеству и последовательности упражнений для осмысления и закрепления теоретического материала.

Адаптация знаний об учебной дисциплине включает в себя адаптивное представление учебных материалов и адаптивную навигацию согласно установленному уровню рейтинга обучаемого, т.е. количественной характеристике сформированной системы ЗУН.

Математической моделью способа адаптивного представления учебных материалов являются правила нечетких продукций. Данное представление позволяет учесть лингвистическую неопределенность знаний эксперта о методике проведения учебных занятий и обуславливает естественный способ переноса стратегий преподавания, сформированных педагогом на основе имеющегося практического опыта при личных контактах с учащимися, в образовательную среду компьютерного обучения. Все это позволяет максимально приблизить процесс автоматизированного обучения к традиционному обучению.

База нечетких правил продукций по функциональному признаку разделена на сценарий тестирования и сценарий обучения. Сценарий тестирования представлен конечным множеством правил нечетких продукций, отражающих представления эксперта о способе адаптации трудности тестовых заданий согласно уровню промежуточного рейтинга обучаемого, динамически изменяющегося во время прохождения тестирования, с целью

повышения точности установления уровня ЗУН обучаемого. Сценарий обучения представлен конечным множеством правил нечетких продукций, отражающих представления эксперта о способах адаптации содержания теоретической части учебной дисциплины, согласно установленному уровню итогового рейтинга обучаемого (обобщенной характеристике уровня ЗУН обучаемого в пройденной части курса).

Схема нечеткого вывода на основе продукционных правил осуществляется с использованием алгоритма Мамдани. В результате дефазификации в зависимости от контекста задачи устанавливается наиболее подходящий обучаемому рейтинг содержания ( $U^*$ ) или степень трудности вопроса ( $v^*$ ).

Целью адаптации навигации теоретической части учебной дисциплины является поддержка обучаемого в ориентации и навигации посредством изменения проявления видимых ссылок в структуре теоретической части учебной дисциплины. Данная цель реализуется путем установления подмножества тем, по которым обучаемым не достигнуто значение порогового рейтинга  $R_{порог}$ , заданного экспертом, и выделения этого подмножества в структуре теоретической части учебной дисциплины.

Обозначим  $K^* \subset K$  – подмножество тем, вопросы по которым участвовали в тестировании,  $R_{T_i} \in [0; 100]$  – значение рейтинга обучаемого, достигнутого им при тестировании по теме  $T_i \in K^*$ ,  $i = \overline{1, l}$ . Построим нечеткое множество  $\tilde{R}_{порог}$  – «рейтинг обучаемого, близкий к пороговому», функция принадлежности которого задается аналитически следующим выражением:

$$\mu_{\tilde{R}_{порог}}(R_{T_i}) = \frac{1}{1 + \left| \frac{R_{T_i} - R_{порог}}{5} \right|^2}.$$

Выбор колоколообразной функции в качестве функции принадлежности обусловлен тем, что данный тип функций порождает нормальные унимодальные нечеткие множества. Подмножество тем, по которым не достигнуто значение порогового рейтинга  $R_{порог}$ , есть дополнение множества  $\alpha$ -уровня до множества  $K$ :  $\bar{K}_\alpha = \{T \in K \mid \mu_{K_\alpha} < \alpha\}$ , где  $\alpha \in [0; 1]$ . Значение  $\alpha$  задается экспертом и характеризует степень близости к пороговому рейтингу. Можно принять  $\alpha = 0,5$ . Результатом установления состава множества  $\bar{K}_\alpha$  является адаптация системы навигации электронного учебного курса.

Разработка ИСДО на основе предложенных математических моделей позволит адаптировать содержание и систему навигации ЭУК адекватно лингвистически неопределенной характеристике уровня ЗУН обучаемого, реализовать принцип

индивидуализации обучения и тем самым повысить дидактическую эффективность дистанционного обучения.

### **Список литературы**

1. Балашов И.В. Полемические аспекты введения дистанционного обучения и образования как составной части инновационных информационно-коммуникационных технологий современного образовательного процесса в России // Европейский журнал социальных наук. – 2011. – № 8. – С. 141-151.
2. Батыршин И.З. Основные операции нечеткой логики и их обобщения. – Казань : Отечество, 2001. – 100 с.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб. : БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
4. Макарычев П.П., Денисова И.Ю. Информационные обучающие системы : монография. – Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2008. – 160 с.
5. Рыжов А.П. Модели поиска информации в нечеткой среде. – М. : Изд-во Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2004. – 96 с.
6. Слостенин В.А. и др. Педагогика : учеб. пособие для студ. высш. пед. учеб. заведений / В.А. Слостенин, И.Ф. Исаев, Е.Н. Шиянов ; под ред. В.А. Слостенина. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 576 с.

### **Рецензенты:**

Макарычев П.П., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Математическое обеспечение и применение ЭВМ» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза.

Дорофеев В.Д., д.т.н., профессор, зав. кафедрой «Экономика и экономические информационные системы» Пензенского регионального центра высшей школы (филиала) федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Российский государственный университет инновационных технологий и предпринимательства», г. Пенза.